

**ZUR BEDEUTUNG DER
BILDUNG VON CYANWASSERSTOFF
BEI BRÄNDEN**

1982

ANDREAS WICHT



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554012_0004

Aus dem Institut für Rechtsmedizin der Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. W. Spann

ZUR BEDEUTUNG DER
BILDUNG VON CYANWASSERSTOFF
BEI BRÄNDEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Andreas Wicht

aus

Grafenau

1982



Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. W. Spann

Mitberichterstatter:

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Oktober 1982

Herrn Prof. Dr. W. S p a n n möchte ich für die Überlassung des Themas und die jederzeit freundliche Unterstützung herzlich danken.

Ganz besonders möchte ich auch Herrn Dr. Ludwig v o n M e y e r danken, der mir bei der Durchführung der Arbeit jederzeit sehr hilfreich zur Seite stand.

Dank schulde ich auch den Mitarbeitern des toxikologischen Labors am Institut für Rechtsmedizin für die gute Zusammenarbeit.

Meinem
verstorbenen
Vater

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
1.1. Bedeutung der Blausäure	3
1.1.1. Allgemeines	3
1.1.2. Aufnahme	4
1.1.3. Toxizität	4
1.1.4. Wirkungsweise	4
1.1.5. Akute Vergiftung	5
1.1.6. Therapie	5
2. LITERATURÜBERSICHT	6
2.1. Entstehung toxischer Gase bei Bränden	6
2.2. In-vitro-Untersuchungen über das Auftreten von Cyanwasserstoff	14
2.3. Methoden zur Bestimmung des Cyanwasserstoffs im biologischen Material	18
2.3.1. Nicht-colorimetrische Methoden	18
2.3.2. Colorimetrische Methoden	18
2.4. Postmortale Cyanwasserstoffbildung	22
3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN	26
3.1. Modifizierte Methode nach Pranitis und Stolman	26
3.1.1. Reagenzien	27
3.1.2. Benutzte Geräte und Materialien	27
3.1.3. Arbeitsvorschrift	28
3.1.4. Apparative Darstellung	30
3.1.5. Erstellen einer Eichgeraden	31
3.2. Empfindlichkeit und Reproduzierbarkeit der Methode	33
3.3. Stabilität des gebildeten Tetra-cyanonickelkomplexes	35

	Seite
3.4.	Einfluß des Kohlenmonoxids auf die Bestimmung des Cyanids 37
3.5.	Einfluß des Thiocyanats auf die Bestimmung des Cyanwasserstoffs 39
3.6.	Anwendung der Methode im weiteren biologischen Material 40
4.	UNTERSUCHUNGEN DER BLUTPROBEN VON BRANDLEICHEN AUF DAS VORHANDENSEIN VON CYANWASSERSTOFF 42
4.1.	Beschreibung der Fälle mit positivem Cyanwasserstoffnachweis 47
5.	DISKUSSION 56
6.	ZUSAMMENFASSUNG 58
7.	LITERATURVERZEICHNIS 59

1. EINLEITUNG

Die Gefährdung des menschlichen Organismus bei Bränden resultiert aus der Sichtbehinderung, dem Sauerstoffmangel, der thermischen Belastung und der toxischen Wirkung von Pyrolyseprodukten. Die Anteile der genannten Gefahrenmomente variieren je nach Art und Ausbreitung des Brandherdes.

Während die Wirkung der drei ersten Faktoren schon längere Zeit bekannt und untersucht ist, wurde der toxischen Wirkung von Pyrolyseprodukten - abgesehen vom Kohlenmonoxid - erst in letzter Zeit größere Aufmerksamkeit geschenkt. Dabei wurde gefunden, daß z.B. viele der Stickstoff enthaltenden Polymere Cyanid produzieren, wenn sie entzündet werden (3, 28, 29, 30, 36, 39, 54, 57, 61, 63, 67, 68). Die Quantität ist sowohl vom Typ des Polymers als auch von den Brandbedingungen abhängig.

So wurden in den USA anlässlich eines Flugzeugabsturzes erstmals in der Luftfahrtgeschichte Cyanidbestimmungen im Blut von Verunglückten angestellt, nachdem bei den üblich durchgeführten Kohlenmonoxidbestimmungen Werte gefunden wurden, die nach Ausschluß anderer Todesursachen keinesfalls für das Ableben der Passagiere verantwortlich gemacht werden konnten (55).

Auch in Deutschland wurden entsprechende Studien über die Toxizität von Schwel- und Brandgasen verschiedener Materialien veröffentlicht (47).

Man gewinnt jedoch den Eindruck, daß es sich bei den benutzten Methoden zur Bestimmung des Cyanwasserstoffs im bio-

logischen Material zum Teil um schlecht reproduzierbare, in ihrer Handhabung umständliche Methoden handelt.

Gerade aber wegen der hohen Toxizität von Cyanwasserstoff ist es notwendig, über eine spezifische und empfindliche Methode zu verfügen.

Eine echte Verbesserung stellt die von Pranitis und Stolman beschriebene Methode zur Bestimmung des Cyanwasserstoffs im biologischen Material dar.

Berger-Roscher konnte den Wert der Methode bestätigen und durch Modifikationen eine Weiterentwicklung erzielen (10).

In der vorliegenden Arbeit soll nun eine an Pranitis und Stolman angelehnte, verbesserte Methode zur Cyanidbestimmung im Blut vorgestellt und deren Anwendung zur Klärung des Stellenwertes von Cyanid als Todesursache bei Bränden beschrieben werden.

1.1. BEDEUTUNG DER BLAUSÄURE (14, 18, 19, 23, 24, 37, 56, 64)

1.1.1. ALLGEMEINES:

Blausäure ist eine schwache, in reiner Form sehr flüchtige, bei Zimmertemperatur siedende (26°C), farblose, in Wasser lösliche Säure. Der ihr eigene Bittermandelgeruch wird - wahrscheinlich genetisch bedingt - nicht von allen Menschen wahrgenommen und nimmt bei hoher Konzentration durch Lähmung der Geruchsnerven ab. (23, 24)

Verwendung findet Blausäure heute vorwiegend als Schädlingsbekämpfungsmittel, ihre Salze werden in der Laugerei von Gold- und Silbersalzen, in der Galvanotechnik, Photographie, als Industrie- und Laborchemikalie verwendet.

Bereits im 1. Weltkrieg stand Blausäure im Gemisch mit Arsen-trichlorid, Zinntetrachlorid und Chloroform als Kampfstoff zur Verfügung. (37, 56)

Blausäure entsteht bei der Einwirkung von Säuren auf Cyanide, aber auch aus komplexen Cyaniden (z.B. Kaliumferricyanid) sowie beim Verschwelen von stickstoffhaltigen Kunststoffen.

In bitteren Mandeln und vielen Obstkernen, z.B. Pfirsichkernen, auch in Leinsamen und in bestimmten tropischen Wurzeln kommen blausäurehaltige Glycoside vor, aus denen enzymatisch Blausäure abgespalten werden kann.

1.1.2. AUFNAHME:

Die Aufnahme erfolgt per inhalationem, per os, percutan, insbesondere durch verletzte und verbrannte Haut.

1.1.3. TOXIZITÄT:

Bei Inhalation können 100 - 150 ppm HCN über 30 - 60 Minuten, 200 - 500 ppm HCN über wenige Minuten tödlich sein. (24)
Die orale Dosis für HCN beträgt 1-2 mg/kg, für Na-K-Cyanid 2-3 mg/kg. (24)

Die Entgiftung erfolgt in erster Linie durch die Umwandlung von Cyanid in das wesentlich weniger toxische Rhodanid, unter Mitwirkung des Enzyms Rhodanase. Erhöhte Aktivitäten dieses Enzyms finden sich in der Leber und in der Niere. (24)

1.1.4. WIRKUNGSWEISE:

Die Blausäurevergiftung ist vorwiegend die Folge der Bildung eines Cyan-Cytochromoxydase-Komplexes. Das zentrale Eisenatom des Warburgschen Atemfermentes wird in der III-wertigen Oxydationsstufe fixiert und damit die Einschleusung des O_2 in den Stoffwechsel unterbunden.

1.1.5. AKUTE VERGIFTUNG:

Bei massiver HCN-Inhalation apoplektiformer Verlauf mit Tod innerhalb einiger Sekunden oder Minuten, eventuell nach Aufschrei und unter Krämpfen. Nach Inhalation niedriger Dosen oder nach oraler Aufnahme kommt es neben lokalen Reizerscheinungen zu Wärme-Schwindelgefühl, Hautrötung, Ohrensausen, Sehstörungen, Übelkeit, Erbrechen, Herzbeschwerden. Durch wenig verbrauchten Sauerstoff kommt es trotz Atemnot zu keiner Zyanose.

Beim Überstehen einer Blausäurevergiftung bleiben, im Gegensatz zur Kohlenmonoxidvergiftung, meist keine Schäden zurück.

1.1.6. THERAPIE:

Gabe von Methämoglobinbildnern (Na-Nitrit, Amylnitrit, besser p-Dimethylaminophenol -DMAP-)

Verabreichung von Natriumthiosulfat zur Beschleunigung des Entgiftungsvorganges Cyanid-Rhodanid.

CO₂-EDTA mit nachfolgender Gabe von Natriumthiosulfat.
(14, 18, 19, 24, 64)

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1. ENTSTEHUNG TOXISCHER GASE BEI BRÄNDEN

Die Tatsache, daß bei Bränden neben Kohlenmonoxid auch Cyanwasserstoff entsteht, ist seit längerem bekannt.

1900 kamen in Leipzig mehrere Menschen ums Leben, als Zelluloid verbrannte. Nach Gadamer entsteht bei der Verbrennung von Zelluloid Cyanwasserstoff. (21)

1929 ereignete sich in einem Krankenhaus in Cleveland (Ohio) eine Massenvergiftung durch verbrennende Röntgenfilme aus Nitrozellulose. Etwa die Hälfte der Opfer verstarben plötzlich oder innerhalb der ersten Stunden, die anderen Verunglückten dagegen erst am folgenden Tag.

Daraufhin wurden Versuche über die Toxizität von Röntgenfilmen, die aus Nitrozellulose bestehen, durchgeführt. (43) In den Verbrennungsgasen der Röntgenfilme fand sich neben nitrosen Gasen und Kohlenmonoxid etwa 1 % Cyanwasserstoff (17), der für die rasch zum Tode führende Vergiftung verantwortlich gemacht wurde, während die Wirkung der nitrosen Gase als Ursache für den späteren Todeseintritt genannt wurde. (43)

1965 mußte bei Salt Lake City ein Flugzeug notlanden. In den Kabinen brach Feuer aus, 43 von 85 Passagieren kamen ums Leben. Die Untersuchungen der Blutproben der tödlich Verunglückten auf Kohlenmonoxid ergaben Werte von 13-82 % CO-Hb. Eine mögliche Beteiligung von Cyanwasserstoff wurde

damals bereits⁷ diskutiert.

Anläßlich eines weiteren Flugzeugunglückes in Anchorage/Alaska, 1970, wurden zum ersten Mal in der Luftfahrtgeschichte systematische Untersuchungen zum Nachweis von Cyanwasserstoff durchgeführt. (55)

Unter Verwendung der Methode von Feldstein und Klendshoj zum Nachweis von Cyanid wurden Cyanwasserstoffkonzentrationen von 0,01 - 2,26 µg/ml gefunden.

Die Konzentration von Kohlenmonoxid lag zwischen 17 und 70 %.

In der folgenden Zeit wurde dieser Problematik erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. (3, 4, 28, 29, 30, 39, 40, 41, 47, 54, 57, 63, 65, 66, 68)

In früheren Jahren stand bei Brandunfällen mit tödlichem Ausgang die Kohlenmonoxidwirkung im Vordergrund. Mit zunehmender Verbreitung von Kunststoffen bei Gebäuden, im Haushalt, in der Industrie, bei der Ausrüstung von Kraftfahrzeugen sowie in der Luftfahrtindustrie zeigen sich auch vermehrt Brandunfälle mit Cyanwasserstoffvergiftungen.

Sigrist und Dirnhofer (54) berichten über folgenden Fall: Ein 32jähriger wird am Boden einer neu installierten, teilweise ausgebrannten Küche tot aufgefunden. Das Sektionsergebnis sprach für eine Vergiftung durch Brandgase, insbesondere durch Kohlenmonoxid. Die Untersuchung des Leichenblutes ergab einen Gehalt von 53 % CO-Hb, ein Wert, der bei einem gesunden Menschen nicht unbedingt den Tod zur Folge hat, sowie 0,9 mg/l Cyanwasserstoff. Daraufhin wurde nach möglichen Cyanidquellen gesucht. Die Autoren konnten in Versuchen mit Kunststoffplatten, die zur Herstellung von Küchen-

schränken verwendet werden, zeigen, daß bereits bei Temperaturen von 450 °C schon recht erhebliche Mengen Cyanwasserstoff freigesetzt werden. (Tabelle 1)

Aus den Untersuchungen ging auch hervor, daß bereits bei Temperaturen zwischen 200 und 300 °C mit Cyanidfreisetzungen zu rechnen ist.

Von Lüpke und Schmidt (39) berichten über einen Zimmerbrand, bei dem zwei Männer ums Leben kamen. Der eine Tote war fast vollständig verkohlt, bei dem anderen fanden sich keine Verbrennungszeichen, dafür jedoch eine massive Einatmung von Rußpartikeln.

Tabelle 1

Nr.	Typenbezeichnung	flächenspez. 2 Gewicht (g/m^2)	flächenspezif. HCN-Freisetzung 450° C	HCN-Freisetzung bei Flamme (g/m^2)
1	Decorite IGAV FA 0570	1350	0,25	1,0
2	Texon 51	850	0,75	4,6
3	Decorite FA 7156	1250	0,3	2,6
4	Belfort Truwood 14	1150	0,2	2,5
5	Decorite FPA 8318	1200	0,75	1,8
6	Polyrey Papago G 12	1200	0,12	1,2
7	Polyrey Granit B 12	1350	0,35	1,0
8	Spanplatte (16 mm dick; spezif. Gewicht: 0,6–0,7 g/cm^3)		HCN-Freisetzung 0,05	(g/kg) 0,7

Quantitative Bestimmung der Blausäurefreisetzung aus verschiedenen Kunststoffplatten und Spanplatten bei unterschiedlicher Pyrolysetemperatur nach Sigrist und Dirnhofer.

Quantitative Bestimmungen auf CO-Hb und Cyanwasserstoff (Methode nach Feldstein und Klendshoj) brachten folgendes Ergebnis:

Toter (verkohlt)		Toter (ohne sichtb. Veränderungen)	
CO-Hb	24 %	CO-Hb	29 %
CN ⁻	0,29 µg/ml	CN ⁻	0,77 µg/ml

Daraufhin wurden verschiedene Materialien vom Brandort untersucht (Toilettenschränken, Reststück Schaumstoff von dem Polster einer bis auf das Stahlgerüst abgebrannten Liege, Material vom Fußbodenbelag). Dabei konnte Cyanwasserstoff im Pyrolysat vom Fußbodenbelag und vor allem vom Schaumstoff der Liege (meist bestehend aus Polyurethanen, die im Additionsverfahren aus Cyanaten hergestellt werden) nachgewiesen werden.

Cyanwasserstoff entstand auch beim Verbrennen von Proben des Toilettenschränkchens.

Die toxische Wirkung von Cyanwasserstoff bei der Verbrennung von stickstoffhaltigen Polymeren wurde auch in Tierversuchen bestätigt. (39)

Wetherell (63) untersuchte während eines Zeitraumes von 16 Monaten Blutproben von 53 Brandleichen auf die Anwesenheit von Cyanwasserstoff und Kohlenmonoxid.

Dabei fand sich Cyanwasserstoff in 39 Fällen mit Konzentrationen von 17 µg/100 ml bis 220 µg/100 ml; in 14 Fällen fand sich nur Kohlenmonoxid. Als Quelle der Cyanwasserstoffentstehung wird Verschwelen von stickstoffhaltigem Material (Wolle, Seide, Filme aus Nitrozellulose) angenommen.

Yamamoto untersuchte den Kombinationseffekt von Cyanwasserstoff und Kohlenmonoxid bei Verbrennungsprodukten von Polyacrylonitrilen (PAN) und Gaze-Verbindungen.

Dabei wurden Ratten und Mäuse 30 Minuten lang Verbrennungsgasen, die durch Erhitzen verschiedener Kombinationen von Gaze und Polyacrylonitrilen entwickelt wurden, ausgesetzt. Schwere Vergiftungserscheinungen und Tod der Tiere traten früher in Versuchsgruppen mit höheren Anteilen von PAN ein; als Ursache wurden höhere Cyanwasserstoffkonzentrationen dieser Gruppe angegeben.

Es konnte keine lineare Beziehung zwischen CO-Hb und Cyanwasserstoffkonzentrationen nachgewiesen werden.

Den Autoren schien es auch unwahrscheinlich, daß eine Potenzierung zwischen Cyanwasserstoff und Kohlenmonoxid in bezug auf tödliche Folgen besteht. (66)

Die Bedeutung des Cyanwasserstoffs bei Brandunfällen wurde in Großbritannien während des Zeitraumes von 1976 - 1979 untersucht.

Cyanwasserstoff und dessen Hauptmetabolit im menschlichen Organismus, Thiocyanat, wurde bei 139 Brandleichen bestimmt. Die Ergebnisse wurden mit den Konzentrationen von Brandgasvergiftungen, die nicht tödlich endeten, Feuerwehrmännern und einer Kontrollgruppe verglichen.

Erhöhte Cyanwasserstoffspiegel wurden bei den Brandleichen und bei den Rauchgasvergiftungen gefunden, nicht jedoch bei den Feuerwehrleuten, verglichen mit der Kontrollgruppe. Raucher wiesen einen höheren Spiegel auf als Nichtraucher.

Eine additive bzw. synergistische Wirkung von Cyanwasserstoff und anderen Faktoren, wie Kohlenmonoxid, Alkohol, Al-

ter der Verunglückten und Herz-Kreislaufferkrankungen, konnte nicht gefunden werden.

Von den erhöhten Thiocyanatspiegeln kann nicht auf die vorhandene Cyanwasserstoffkonzentration geschlossen werden. (3, 4)

Einen Überblick gibt Tabelle 2.

Tabelle 2

Cyanidkonzentrationen bei Brandleichen, Feuerwehrmännern
und einer Kontrollgruppe, nach R.A. Anderson und W.A. Harland. (4)

Subject group	No. samples	Range	Mean ($\mu\text{g/ml}$)
Fatalities (smokers + non-smokers)	139	0 - 6.43	1.24
Non-fatal casualties (smokers + non-smokers)	41	0 - 3.40	0.56
Firemen smokers	64	0.014 - 0.618	0.23
Firemen non-smokers	30	0 - 0.402	0.10
Control smokers	27	0.035 - 0.524	0.11
Control non-smokers	29	0 - 0.308	0.06
Post-mortem controls (smokers + non-smokers)	19	0 0.216	0.07

2.2. IN-VITRO-UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS AUFTRETEN VON CYANWASSERSTOFF

Ihrer chemischen Zusammensetzung nach sind Kunststoffe hochpolymere organische Stoffe, häufig leicht brennbar, mit starker Rauch- und Qualmentwicklung. Bei unvollständiger Verbrennung bzw. Verschwelung von stickstoffhaltigen Kunststoffen, wie Harnstoff-Formaldehyd bzw. Melamin-Formaldehydkondensaten oder Polyamiden, Polyimiden und Acrylnitrilen, entsteht neben Kohlenmonoxid Cyanwasserstoff.

Dabei gibt es neben den synthetischen Materialien auch natürliche Materialien, die schon bei mittlerer Temperaturbelastung große Mengen an Cyanwasserstoff bilden. (Tabelle 3)

Tabelle 3

Bildung von Blausäure bei verschiedenen Materialien
als Funktion der Temperaturbelastung nach Pohl und Schmidt (47)

Substanz	HCN (mg %)							
	250 ⁰	350 ⁰	450 ⁰	550 ⁰	650 ⁰	750 ⁰	850 ⁰	
Bw	35	10	15	15	15	30	50	
Wo	230	500	150	500	1500	1600	1300	
Papier	4	6	4	4	3	10	50	
Holz	20	20	15	15	7	80	70	
CA	20	5	10	10	4	10	5	
PES	3	30	10	5	5	5	5	
PAC	1500	1500	600	3000	3000	4200	3000	
PA-6.6	20	300	300	500	1500	1500	800	
PE	50	10	10	10	1	-	-	
PST	5	10	2	-	8	20	80	
Tabak	4	8	80	120	330	50	220	

Nach Pohl (47) werden folgende 3 Gruppen unterschieden, die bei einem normalen Brandgeschehen vorkommen:

- 1) Stickstofffreie Materialien, im wesentlichen auf Zellulose-Polyäthylen- und Polystyrolbasis, welche auch im mittleren bis hohen Temperaturbereich nur unbedenkliche Mengen an Cyanwasserstoff im Rauchgas aufweisen.
- 2) Stickstoffhaltige Materialien, welche aufgrund ihres hohen Zersetzungsbereiches erst im mittleren bis hohen Temperaturbereich beachtliche Mengen an Cyanwasserstoff entwickeln. Hierunter fallen die Polyamide und als natürliches Material die Wolle.
- 3) Stickstoffhaltige Materialien, die schon bei niedriger Temperaturbelastung erhebliche Konzentrationen von Cyanwasserstoff bilden, im wesentlichen aus Polyacryl-Nitril-Typen.

Weiterhin zeigte Pohl in Tierversuchen, daß im Hinblick auf die Gesamtoxizität der Schwel- und Brandgase folgende 3 Materialgruppen unterschieden werden:

- 1) Substanzen mit niedrigem Zündpunkt, im wesentlichen auf Zellulosebasis, deren praktisch einziges, bei niedrigen Temperaturen jedoch sehr stark gebildetes Toxin das Kohlenmonoxid ist.
- 2) Substanzen mit mittlerem bis hohem Zündpunkt (Wolle, Polyacrylnitril), die jedoch schon bei niedrigen Temperaturen hohe Konzentrationen an Cyanwasserstoff entstehen lassen und bei denen das Kohlenmonoxid als Toxin praktisch vernachlässigt werden kann,
- 3) Substanzen mit mittlerem bis hohem Zündpunkt (Polyamid-6,6, mit Einschränkung auch der Polyester), welche bis zu mittleren Temperaturbelastungen geringe Mengen an Kohlenmonoxid entwickeln und erst bei hohen Temperaturen - im Falle des Polyamids - nennenswerte Cyanwasserstoffkonzentrationen durch Zersetzung erzeugen.

2.3. METHODEN ZUR BESTIMMUNG DES CYANWASSERSTOFFS IM BIOLOGISCHEN MATERIAL

Aufgrund der hohen Toxizität von Cyanwasserstoff ist es erforderlich, über spezifische und empfindliche Methoden zu verfügen. Man kann folgende grobe Unterteilung vornehmen:

2.3.1. I. NICHT-COLORIMETRISCHE METHODEN.

- a) Titrimethoden (35)
- b) Polarographische Methoden (27, 32, 33)
- c) Gaschromatographische Methoden (20, 45, 58, 62)

2.3.2. II. COLORIMETRISCHE METHODEN.

In dieser Arbeit soll lediglich auf die colorimetrischen Methoden näher eingegangen werden.

1944 wird von Aldridge (1) eine Methode zur Bestimmung kleiner Mengen von Cyanid und Rhodanid vorgestellt. Dabei wird aus Cyanid und Rhodanid mit Hilfe von Bromwasser Cyanogenbromid gebildet, das mit Benzidin und Pyridin eine orange Farbe gibt. Bei Anwesenheit von Rhodanid wird Cyanid durch Destillation abgetrennt. Durch Subtraktion wird die Konzentration von Cyanid errechnet. Die Nachweisgrenze liegt bei 0,3 µg/ml.

Der Cyanogenbromid-Benzidin-Pyridin-Komplex ist jedoch nur für eine halbe Stunde stabil.

Asmus und Garschagen (5) verwenden anstatt eines primären aromatischen Amins zur Bildung eines Polymethinfarbstoffes Barbitursäure. Es wurden jedoch nur Messungen im Wasser durchgeführt.

Ebenfalls auf der Bildung eines Polymethinfarbstoffes beruht eine von Epstein (16) vorgestellte Methode. Dabei wird Cyanid mittels einer Chloramin-T-Lösung zu Chlorcyanid oxydiert, das mit Pyridin und 1-phenyl, 3-methyl, 5-pyrazolon reagiert; der dabei gebildete blaue Farbstoff ist jedoch maximal für eine halbe Stunde stabil. Mit Hilfe eines Zusatzes von bis-Phenylmethylpyrazolons wurde versucht, den Farbkomplex zu stabilisieren.

Diese empfindliche Methode (Nachweisgrenze von 0,2 µg/ml) wurde von der amerikanischen Gesundheitsbehörde allgemein empfohlen.

1947 veröffentlichen Gettler und Goldbaum (25) eine Methode zur Bestimmung kleinster Mengen von Cyanwasserstoff im biologischen Material. Es handelt sich dabei um eine Test-

fleckenmethode, die auf der für die Blausäure spezifischen Berliner-Blau-Reaktion beruht. Durch Vergleich mit einer Reihe von Berliner-Blau-Flecken, die von bekannten Cyanwasserstoffmengen stammen und unter gleichen Versuchsbedingungen bestimmt wurden, kann die im Untersuchungsmaterial vorhandene Menge direkt abgelesen werden. 0,1 bis 0,2 µg konnten erfaßt werden.

Über eine weitere Methode berichten Drabner und Schwerd (15). Als Reagenz wurde Bathophenanthrolin verwandt; diese Substanz ergibt mit dem Cyanidion eine intensive, hochempfindliche Farbreaktion. Nachweisgrenze 0,1 µg.

Der störende Einfluß von Kupfer-Nickel-Kobaltionen, Eisen II- und vor allem Eisen III-Ionen wird durch Destillation der Cyanidionen umgangen. Der Farbkomplex ist über Wochen stabil.

Einen deutlichen Fortschritt brachte die von Scoggins (50) veröffentlichte Methode zur Bestimmung des Cyanidions.

Grundlage dieses Nachweisverfahrens ist die rasche Reaktion des Cyanidions mit dem Nickelion in ammoniakalischer Lösung unter Bildung eines stabilen Tetracyanonickel-II-Komplexes mit charakteristischem UV-Spektrum, der ohne weitere Verarbeitung verwendet werden kann. Die Nachweisgrenze liegt bei 0,5 µg/ml.

Als Störfaktoren erwiesen sich Sulfide, die jedoch durch Permanganat- oder Quecksilberionen beseitigt werden können. Vorausgegangen war eine Veröffentlichung über die Bestimmung von Nickel in ammoniakalischer Kaliumcyanidlösung unter Zuhilfenahme der UV-Spektrometrie. (51)

Auf dieser Grundlage basierend, haben Pranitis und Stolman (49) eine Methode vorgestellt, bei der die störenden Sulfide unter Zwischenschaltung einer zweiten Gaswaschflasche, die mit Bleiacetat gefüllt ist, eliminiert werden. Die Nachweisgrenze liegt bei 0,5 µg/ml.

2.4. POSTMORTALE CYANWASSERSTOFFBILDUNG

Berndt, Kerde und Prokop (11) veröffentlichten eine Arbeit zur Frage der Verwertbarkeit von Cyanwasserstoffbefunden im Leichenmaterial. Dabei zeigten die Autoren mit Hilfe der Methode von Gettler und Goldbaum, daß es postmortal zur Cyanwasserstoffbildung kommt. Das Maximum der Cyanwasserstoffbildung soll nach 7 bis 14 Tagen post mortem auftreten; nach dieser Zeit soll es wieder zur Abnahme der Konzentration kommen.

Als günstige Bedingungen für die Cyanwasserstoffentstehung wurden gefunden:

Temperaturoptimum bei etwa 4°C,
schwach alkalisches bis alkalisches Milieu,
Zusätze zum Untersuchungsmaterial, die der Zusammensetzung des Merck-II-Nährbodens entsprechen.

Als Ursache werden chemische Reaktionen bzw. Zerfallsprozesse diskutiert, wobei aufgrund des niedrigen Temperaturoptimums und des alkalischen Milieus einfache abakterielle, autolytische Zerfallsprozesse für unwahrscheinlich gehalten werden. Eine Cyanwasserstoffbildung durch Bakterien und Pilze wurde für möglich gehalten.

Demgegenüber zeigen Arbeiten von Ballantyne, Bright und Williams, die in jüngerer Zeit veröffentlicht wurden, daß es bei den von den Autoren durchgeführten Versuchen innerhalb von 3 Wochen in allen untersuchten Organproben zu einem

Cyanwasserstoffverlust kam. Die Untersuchungen wurden nach dem Verfahren von Epstein durchgeführt. Für eine Cyanwasserstoffneubildung fand sich kein Hinweis. (7)

Seifert (52) weist in seinen Studien zur Cyankaliumvergiftung mit Hilfe einer Testfleckenmethode darauf hin, daß trotz Abnahme des Cyanwasserstoffgehaltes im Untersuchungsmaterial die grünblauen Flecken, die bei der Methode nach Gettler und Goldbaum auf dem Testpapier vor dem Eintauchen in HCL entstehen, zunehmen. Man dachte zunächst an eine Neubildung von Cyanwasserstoff.

Die aufgetretenen Flecken verschwanden jedoch sofort, nachdem das Testpapier mit HCL behandelt wurde.

Durch entsprechende Versuche haben die Autoren nachgewiesen, daß diese Verfärbung des Testpapiers von der Entstehung des Schwefeleisens herrührt, das sich in HCL wieder auflöst. Eine Störung der Methode wurde von den Verfassern erst bei extrem hohen Mengen von Schwefelwasserstoff für möglich gehalten.

Curry, Price und Rutter (13) berichten 1967 über die postmortale Cyanwasserstoffbildung. Dabei führten die Autoren aufgrund cyanwasserstoffhaltiger Blutproben bei Barbituratvergiftungen Versuche zum Nachweis postmortaler Cyanwasserstoffbildung durch. Sie benutzten eine modifizierte Methode nach Gettler und Goldbaum.

Hierbei wurde auch einer Beobachtung von Patty (46) Aufmerksamkeit geschenkt, wonach *Pseudomonas pyocyaneus* als Ursache für die postmortale Cyanwasserstoffbildung in Frage kam.

Es wurden Blutproben nach verschieden langer Zeit auf die Anwesenheit von Cyanwasserstoff untersucht. Weiter wurden cyanwasserstofffreie Blutproben mit verschiedenen Bakterienstämmen beimpft und bei 0° - 20° - 37°C über längere Zeit (bis 68 Tage) incubiert.

Die Autoren kamen zu folgendem Schluß:

Cyanwasserstoffproduktion kann spontan im bakterienfreien Blut auftreten, toxikologisch wirksame Konzentrationen können sich innerhalb einiger Tage bilden;

Cyanwasserstoffbildung findet statt in Gehirn, Leber, Niere, Uterus sowie im Magen-Darmtrakt;

Durch 1%ige NaF wird die Produktion gehemmt.

Die Produktion im sterilen Blut ist etwas höher bei 20° als bei 37° oder 4°C . Die Neubildung durch *Pseudomonas pyocyaneus* ist bei 4° etwas höher als bei 37° oder 20°C .

Unter optimalen Bedingungen kann nach 2 - 3 Wochen eine Konzentration bis 1 $\mu\text{g/ml}$ Cyanid auftreten, das Maximum wird nach 2 - 3 Monaten erreicht. Nach 10 Monaten wurden noch Werte bis 1 $\mu\text{g/ml}$ beobachtet.

Als mögliche Mechanismen werden Enzymreaktionen und eine geringe Neubildung durch *Pseudomonas pyocyaneus* diskutiert.

K. Narayanaswami e.a. untersuchten die Veränderungen der

Cyanwasserstoffkonzentration im Sektionsmaterial in Abhängigkeit von der Lagerungszeit. (44)

Bei diesen Versuchen wurde Cyanwasserstoff dem Magengewebe in geringer Konzentration, ähnlich wie bei Cyanwasserstoffvergiftungen aufgefunden, zugesetzt.

Es wurden die Veränderungen der Cyanwasserstoffkonzentrationen nach verschieden langer Lagerungszeit (bis zu 20 Tagen) und bei verschiedenen pH-Werten des Probenmaterials mit Hilfe der UV-Spektrometrie untersucht.

Die Arbeiten von Curry e.a. sowie die Beobachtungen von Berndt e.a., beide benützten die Methode nach Gettler und Goldbaum, stimmen darin überein, daß eine meßbare Cyanwasserstoffbildung postmortal nach 2 - 3 Wochen bis 2 Monaten auftritt. Nach längerer Zeit, Monate bis 1 Jahr, soll es zu einer Abnahme kommen.

Demgegenüber konnten Ballantyne e.a., der die Methode nach Epstein benützte, und Narayanaswami e.a. mit Hilfe der UV-Spektrometrie nachweisen, daß es postmortal lediglich zu einem Cyanwasserstoffverlust kommt.

Bei den in der vorliegenden Arbeit gefundenen Cyanwasserstoffkonzentrationen handelt es sich in der Mehrzahl der Fälle um Blutproben, die sofort nach Gewinnung auf die Anwesenheit von Cyanwasserstoff untersucht wurden. Lediglich zwei cyanwasserstoffhaltige Blutproben waren älter als 2 Jahre.

Nach kritischer Durchsicht der Literaturstellen kann für die vorliegende Arbeit eine Beeinflussung der Meßergebnisse durch postmortale Cyanwasserstoffneubildung ausgeschlossen werden.

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1. MODIFIZIERTE METHODE NACH PRANITIS UND STOLMAN

Die oben beschriebenen colorimetrischen Methoden zur Bestimmung des Cyanwasserstoffs im biologischen Material sind zwar insgesamt ausreichend empfindlich und spezifisch, lassen jedoch einige wesentliche Eigenschaften, wie z.B. die Stabilität des gebildeten Farbkomplexes, vermissen. Die dadurch erforderliche sofortige Weiterverarbeitung stellt für die Arbeit im Labor eine große Belastung dar.

Dagegen scheint die von Pranitis und Stolman vorgestellte Methode zur Bestimmung des Cyanwasserstoffs im biologischen Material aufgrund der stabilen Komplexbildung und der leichten Handhabung aussichtsreich zu sein, Eingang im toxikologischen Labor zu finden.

In der vorliegenden Arbeit erfolgten die Untersuchungen auf Cyanwasserstoff nach einem von uns modifizierten Verfahren nach P.A.F. Pranitis und A. Stolman, das im folgenden näher beschrieben werden soll. (Siehe Abbildung!)

Grundlage der Methode ist die sofortige Reaktion des Cyanid-Ions mit der ammoniakalischen Nickelchloridlösung unter Bildung eines stabilen Tetracyanonickelkomplexes, dessen charakteristisches UV-Spektrum bei 267 nm ohne weitere Verarbeitung gemessen werden kann.

3.1.1. ALS REAGENZIEN DIENEN:

Nickelchloridlösung237,7 mg $\text{NiCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

67,5 ml Ammoniaklösung,

aufgefüllt auf 1 Liter mit Aqua dest.

Bleiacetatlösung 10 %aus $\text{Pb}(\text{OCOCH}_3)_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ Schwefelsäure 50 % $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ Natriumhydroxyd-Lösung 0,1n $\text{NaOH} \cdot \text{H}_2\text{O} \ 0,1\text{n}$

3.1.2. BENUTZTE GERÄTE UND MATERIALIEN:

3 Gaswaschflaschen

mit Waschflascheneinsatz

Reagenzgläser

Antischaummittel

Wasserstrahlpumpe

UV-Spektrometer (Beckmann)

3.1.3. ARBEITSVORSCHRIFT

Das Freisetzen des Cyanids aus dem biologischen Material (Blut, Urin, Lunge, Niere, Darm, Leber, Gehirn, Haut) geschieht mit Hilfe dreier Gaswaschflaschen, die hintereinandergeschaltet sind.

In der Gaswaschflasche Nr. 1 befinden sich:

2 ml Blut oder homogenisiertes Gewebe,
15 ml der 0,1n Natriumhydroxydlösung,
Antischaummittel.
2 ml der 50%igen Schwefelsäure, die nach
Anschluß der Gaswaschflasche Nr. 3 an die
Wasserstrahlpumpe hinzugegeben werden.

Gaswaschflasche Nr. 2 enthält:

20 ml der 10%igen Bleiacetatlösung,
wobei sich der Waschflascheneinsatz
in der Bleiacetatlösung befindet.

Mit Hilfe dieses Schrittes werden störende Sulfide zurückgehalten.

In der Gaswaschflasche Nr. 3 befindet sich:

ein möglichst hohes Reagenzglas mit 5 ml der
ammoniakalischen Nickelchloridlösung; der Wasch-
flascheneinsatz befindet sich in der Nickelchlorid-
lösung.

An Gaswaschflasche Nr. 3 wird eine Wasserstrahlpumpe angeschlossen, die so eingestellt wird, daß gerade keine "Blasen" über den Rand des Reagenzglases verlorengehen.

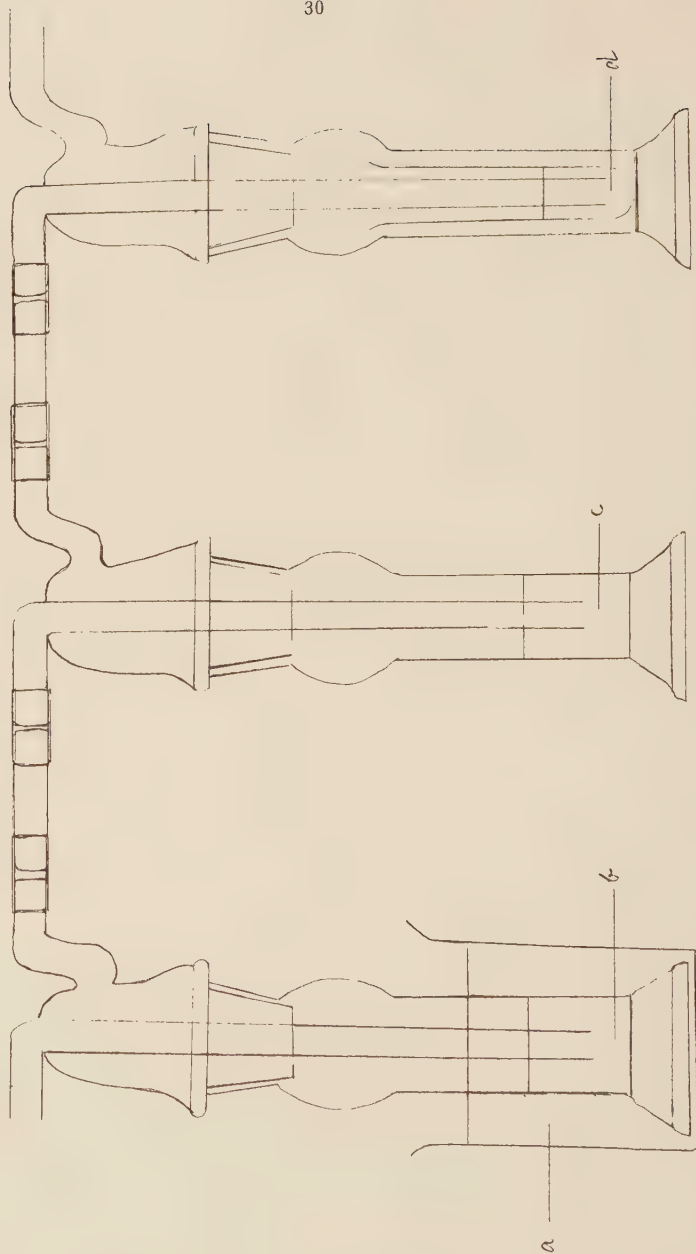
Gaswaschflasche Nr. 1 wird in ein Wasserbad von 90°C gestellt. Dabei ist wichtig, daß der Wasserspiegel des Wasserbades höher steht als der des Gaswaschflascheninhaltes Nr. 1.

Nach einer Laufzeit von 30 Minuten - diese hat sich als optimal herausgestellt - wird die Extinktion der Nickellösung im UV-Bereich gemessen. Es wird bei 360 nm begonnen und bis 220 nm durchgemessen.

3.1.4. ABBILDUNG:

Apparative Darstellung zur Bestimmung des Cyanwasserstoffs im biologischen Material nach Pränitis und Stolman.

- a) Wasserbad b) Probenmaterial c) Pb-Acetat-Lösung d) Ammoniakalische NiCl_2 -Lösung



Das Maximum der Extinktion bei 267 nm wird ausgemessen bzw. notiert und mit Hilfe einer Eichgeraden wird die dazugehörige Konzentration bestimmt.

Unter Zugrundelegung der von den Autoren der Originalmethode empfohlenen Destillationszeit von 20 Minuten zeigte sich, daß die Meßergebnisse deutlichen Schwankungen unterworfen waren.

Unsere Untersuchungen ergaben, daß durch die Verlängerung der Destillationszeit von 20 auf 30 Minuten eine größere Ausbeute sowie eine Verbesserung der Reproduzierbarkeit erzielt werden konnten.

Eine Verlängerung über diesen Zeitraum hinaus brachte keine besseren Ergebnisse.

3.1.5. ERSTELLEN EINER EICHGERADEN

Zur Erstellung einer Eichgeraden wurde eine 10mg%ige Kaliumcyanid-Stammlösung verwendet und durch Verdünnungen entsprechende Lösungen hergestellt. Die Gerade gehorcht dem Lambert Beerschen Gesetz.

Bei unseren Versuchen erreichte die Korrelation für die lineare Regression im Bereich von 2 - 100 µg einen Wert von 0,99 (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4

Erstellen der Eichgeraden

2 µg	0.015 0.016
10 µg	0.070 0.075
20 µg	0.142 0.160
30 µg	0.216 0.244
40 µg	0.298 0.308
50 µg	0.387 0.359
100 µg	0.767 0.769
	$y = 0.0077x - 0.0031$
	Korrelation: 0.9999

3.2. EMPFINDLICHKEIT UND REPRODUZIERBARKEIT DER METHODE

Die Empfindlichkeit der Methode ist gut, die niedrigste Konzentration, die gemessen werden kann, beträgt 0,4 µg Kaliumcyanid/ml.

Einen Überblick über die Reproduzierbarkeit ergibt Tabelle 5.

Dabei wurden 13 Blutproben mit jeweils 20 µg Kaliumcyanid versehen und anschließend nach Destillation die Extinktion bei 267 nm gemessen.

Tabelle 5 - Hierbei werden 13 Blutproben mit jeweils 20 µg KCN bestimmt:

20 µg KCN	$E_{267} = 0.156$
	0.162
	0.149
	0.166
	0.158
	0.164
	0.158
	0.164
	0.174
	0.166
	0.180
	0.146
	0.154
$\bar{x} = 0.1613, s = 0.0093, v = 0.0577$	

3.3. STABILITÄT DES GEBILDETEN TETRACYANONICKEL-KOMPLEXES

Durch ausführliche Untersuchungen konnte auch die Stabilität des gebildeten Tetracyanonickelkomplexes bestätigt werden.

Es wurden jeweils cyanwasserstoffhaltige Proben, die durch Destillation gewonnen wurden, über 4 Wochen hinweg bei Raumtemperatur und bei 4°C im Kühlschrank gelagert und die Extinktionen gemessen. Dabei kam es zu keiner wesentlichen Änderung der Meßwerte. (Tabelle 6)

Tabelle 6

Verhalten der gemessenen Extinktionen des Tetra-
cyanonickelkomplexes über einen Zeitraum von
4 Wochen bei Raumtemperatur (E_1) und 4°C (E_2):

3.8.78	$E_1 = 0.284$ $E_2 = 0.220$
4.8.78	$E_1 = 0.290$ $E_2 = 0.224$
7.8.78	$E_1 = 0.278$ $E_2 = 0.232$
10.8.78	$E_1 = 0.275$ $E_2 = 0.238$
1.9.78	$E_1 = 0.264$ $E_2 = 0.208$
$\bar{x}_1 = 0.2782$	$\bar{x}_2 = 0.2244$
$s_1 = 0.0098$	$s_2 = 0.0115$
$v_1 = 0.0353$	$v_2 = 0.0514$

3.4. DER EINFLUSS DES KOHLENMONOXIDS AUF DIE BESTIMMUNG DES CYANIDS

W. Tsougas und A. Kovatsis (60) berichteten auf dem europäischen Treffen der Toxikologen in Utrecht 1978 über mögliche Störeinflüsse des Kohlenmonoxids bei der Bestimmung des Cyanwasserstoffs mit Hilfe der Atomabsorption. Nachdem die von uns untersuchten Blutproben stellenweise auch relativ hohe Konzentrationen an Kohlenmonoxid enthielten, galt unsere Aufmerksamkeit auch dieser Problematik. Durch eingehende Untersuchungen konnte jedoch gezeigt werden, daß bei der von uns verwandten Methode eine meßbare Beeinflussung durch Kohlenmonoxid nicht auftritt.

So wurden z.B. 75 % CO-Hb-haltigem Blut, das anlässlich einer Sektion eines Suizids mit Autoabgasen sichergestellt worden war, und normalem Blut jeweils 20 µg Kaliumcyanid zugesetzt. Nach Destillation und anschließender Messung der Extinktion bei 267 nm zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Das Ergebnis zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7

Vergleich der E_{267} von 75 % CO-Hb-haltigem Blut und
Normalblut nach Zusatz von jeweils 20 μg KCN

75 % CO-Hb-Blut	Normalblut
$E_{267} = 0.162$	$E_{267} = 0.156$
0.160	0.162
0.140	0.149
0.160	0.166
0.172	0.158
0.164	0.164
0.162	0.158
0.166	0.164
0.164	0.174
0.162	0.166
$\bar{x} = 0.1612, s = 0.0082$	$\bar{x} = 0.1617, s = 0.0068$
$v = 0.0509$	$v = 0.0421$

3.5. EINFLUSS DES THIOCYANATS AUF DIE BESTIMMUNG DES CYANWASSERSTOFFS

Während bei den früher verwandten Methoden zum Teil über den Hauptmetaboliten des Cyanwasserstoffs, dem Thiocyanat, die vorhandene Cyanwasserstoffmenge errechnet wurde (Differenz von im Probenmaterial vorhandenem Thiocyanat minus Thiocyanat nach Abtrennung von Cyanwasserstoff durch Destillation), handelt es sich bei unserer Methode um einen direkten Nachweis des Cyanwasserstoffs.

Im Probenmaterial vorhandenes Thiocyanat hat jedoch, wie unsere Untersuchungen zeigten, keinen störenden Einfluß auf die Bestimmung des Cyanwasserstoffs.

3.6. ANWENDUNG DER METHODE IM WEITEREN BIOLOGISCHEN MATERIAL

Die oben aufgeführte Methode wurde vorwiegend zur Bestimmung des Cyanwasserstoffs im Leichenblut herangezogen. Sie ist jedoch auch für Bestimmungen von Cyanwasserstoff im weiteren biologischen Material verwendbar. Anlässlich der gerichtsmedizinischen Untersuchung einer Leiche (G.S. 460/78 Chemie Nr. 9627/78, HB 460/78) wurden Asservate zur Untersuchung auf Cyanwasserstoff sichergestellt.

Es wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

1. Blut	384 mg berechnet als KCN/L Blut
2. Lunge	182 mg berechnet als KCN/kg Lunge
3. Leber	30 mg berechnet als KCN/kg Leber
4. Hirn	13,9 mg berechnet als KCN/kg Hirn
5. Niere	14,7 mg berechnet als KCN/kg Niere
6. Kehlkopf	58 mg berechnet als KCN/kg Kehlkopf- schleimhaut

7. Duodenalinhalt 43 mg
berechnet als KCN/L Duodenalinhalt
8. Duodenalschleimhaut 7,7 mg
berechnet als KCN/kg Duodenal-
schleimhaut

Im Colon und Rectum war kein Cyanwasserstoff nachweisbar.

Die relativ niedrigen Werte in der Leber und in der Niere stimmen mit Berichten aus der Literatur überein, wonach es durch die erhöhte Aktivität der Rhodanase in diesen Organen, die die Reaktion Cyanwasserstoff-Rhodanid katalysiert, zu einem vermehrten Abbau des Cyanids kommt. (24)

4. UNTERSUCHUNGEN DER BLUTPROBEN VON BRANDLEICHEN AUF DAS VORHANDENSEIN VON CYANWASSERSTOFF MIT HILFE DER OBEN BESCHRIEBENEN METHODE

Bei der von uns vorgestellten modifizierten Methode von Pranitis und Stolman zum Nachweis von Cyanwasserstoff im biologischen Material handelt es sich um einen direkten Nachweis von Cyanwasserstoff.

Durch die Verlängerung der Destillationszeit von 20 auf 30 Minuten und durch die Verwendung von 0,1 n NaOH Lösung anstelle von Wasser konnte eine größere Ausbeute erzielt und die Genauigkeit der Methode noch verbessert werden.

Ferner konnte gezeigt werden, daß die Methode auch für Bestimmungen im weiteren biologischen Material gut geeignet ist (Lunge, Leber, Hirn, Niere, Darmschleimhaut).

Mit Hilfe dieser Methode wurden die Blutproben von Brandleichen untersucht, die in dem Zeitraum von 1974 - 1978 anläßlich einer Sektion sichergestellt worden waren.

Die Mehrzahl der Proben stammten aus 1978 und wurden sofort nach der Sektion auf die Anwesenheit von Cyanwasserstoff untersucht.

Die älteren Proben waren bei 4° - 0°C im Kühlschrank gelagert.

Soweit genügend Material vorhanden war, wurden jeweils Doppelbestimmungen durchgeführt.

Bei den Brandleichen handelte es sich um Opfer von Zimmerbränden, Bränden im Freien, Pkw-Bränden und Flugzeugbränden.

Von den 48 untersuchten Blutproben konnte in 12 Fällen Cyanwasserstoff nachgewiesen werden.

Die gefundenen Konzentrationen bewegen sich zwischen 0,52 und 6,24 $\mu\text{g/ml}$ mit einem Mittelwert von 2,56 $\mu\text{g/ml}$ CN^- .

Einen Überblick geben Tabellen 8 und 9.

Die positiven Fälle sollen im folgenden näher beschrieben werden.

Tabelle 8

	G.S.-Nr.	$\mu\text{g CN}^-/\text{ml Blut}$	% CO Hb
L.	958/74	Ø	-
W.	1038/74	Ø	-
B.	1061/74	Ø	64
P.	193/75	Ø	18
H.	354/75	Ø	70
W.	673/75	Ø	13
F.	518/75	Ø	48
S.	236/76	Ø	-
Z.	883/76	Ø	-
D.	75/76	Ø	62
K.	884/76	Ø	-
S.	266/76	Ø	-
B.	450/76	Ø	-
W.	1322/76	Ø	-
J.	119/77	Ø	-
E.	214/77	Ø	-
N.	1082/77	Ø	-
M.	552/77	Ø	-

Tabelle 8 - Fortsetzung -

	G.S.-Nr.	$\mu\text{g CN}^-/\text{ml Blut}$	% CO Hb
M.	1110/77	Ø	-
B.	1123/77	Ø	-
B.	1480/77	Ø	-
W.	258/77	Ø	31
S.	275/77	Ø	23
L.	703/77	Ø	36
N.	440/78	Ø	-
F.	778/78	Ø	-
S.	1163/78	Ø	-
W.	1200/78	Ø	-
B.	21/78	Ø	-
R.	623/78	Ø	-
P.	882/78	Ø	6
Z.	1403/78	Ø	-
M.	1051/78	Ø	10
D.	1308/78	Ø	78
♀	67/78	Ø	-
♂	66/78	Ø	-

Tabelle 9

G.S.-Nr.	$\mu\text{g CN}^-/\text{ml Blut}$	% CO Hb
Zimmerbrand		
S. 915/74	1,4	-
E. 134/76	0,52	31
H. 2/78	6,24	41
Q. 586/78	0,6	29
B. 587/78	1,4	23
W. 588/78	3,5	19
B. 1345/78	1,4	0
Pkw-Brand		
E. 1049/78	1,4	7
S. 1050/78	2,0	7
S. 1181/78	5,3	79
S. 1406/78	1,4	15
Brand von Plastikmaterial im Freien		
K. 1299/78	0,7	19

4.1. BESCHREIBUNG DER FÄLLE MIT POSITIVEM CYANWASSER- STOFFNACHWEIS

G.S.-Nr.

915/74

Bei diesem Verunglückten wurde eine Cyanidkonzentration von 1,4 µg/ml gefunden. Es handelte sich um einen Zimmerbrand, wobei nicht mehr eruierbar war, welche Materialien verbrannten.

Sektionsergebnis: Verschuß der rechten Herzkranzarterie.

G.S.-Nr.

134/76

Bei diesem Brandopfer fand sich eine Cyanidkonzentration von 0,52 µg/ml und ein COHb-Wert von 31 %.

Sektionsergebnis: Vergiftung durch Brandgase.

Der gefundene CO-Hb-Gehalt des Blutes im letzteren Fall kann den Tod bei einem sonst gesunden Menschen nicht erklären. Der gefundene Cyanidwert muß jedoch als Mindestwert angesehen werden.

Nach Angaben der Literatur kann postmortal ein Cyanwasserstoffverlust auftreten durch Reaktion mit Aldehyden. (46)

G.S.-Nrnr.

586/78; 587/78; 588/78

1978 ereignete sich in einem Altenheim in München ein Zimmerbrand, bei dem 5 Personen ums Leben kamen. Drei davon starben an Ort und Stelle, zwei weitere in Krankenhäusern. Bei letzteren konnte kein Cyanwasserstoff nachgewiesen werden.

Bei zwei der Toten handelte es sich um Feuerwehrleute, die Atemschutzmasken trugen; sie wurden im Aufzug liegend vorgefunden, wobei die Türen des Aufzugs geöffnet waren. Der Heimbewohner W., einer der jüngsten Heiminsassen, legte am Flur noch einige Schritte zurück.

Die chemisch-toxikologische Untersuchung des Blutes der unmittelbar Verstorbenen zeigte folgende Ergebnisse:

G.S.-Nrnr.	$\mu\text{g}/\text{CN}^-/\text{ml}$	COHb (%)
Q (586/78)	0.6	29
B (587/78)	1.4	23
W (588/78)	3.5	19

Brandausmaß: Das Feuer hatte die gesamte Zimmereinrichtung des Brandherdes vernichtet (Sessel-Liegepolster, Teppich, Nadelfilz, Teppichboden, Plastiktüten, Plastikkanister). Auf dem Flur war lediglich die Plastikwanne einer Deckenbeleuchtung geschmolzen.

Als Quelle für die Cyanwasserstoffentstehung konnte ein Schaumstoffpolster, bestehend aus Polyurethanen, verantwort-

lich gemacht werden. Bei der Verschwelung einer Probe des Schaumstoffes, die unter Brandeinwirkung stand, konnte Cyanwasserstoff nachgewiesen werden.

G.S.-Nrn.

586/78 Sektionsergebnis: zentrale Lähmung bei einer Kohlenmonoxidvergiftung in Verbindung mit Einatmung von Rauchgasen.

587/78 Sektionsergebnis: Ersticken bei einer Rauchgasvergiftung in Verbindung mit einer Kohlenmonoxidvergiftung.

588/78 Sektionsergebnis: Ersticken bei Einatmung von Rauchgasen in Kombination mit einer Kohlenmonoxidvergiftung.

Aufgrund der Sektionsergebnisse und der gefundenen Blutcyanwasserstoffkonzentrationen kann nicht ausgeschlossen werden, daß die kombinierte Aufnahme von Kohlenmonoxid und Cyanwasserstoff zum Eintritt des Todes geführt hat.

G.S.-Nr.

2/78

Während der Löscharbeiten nach einem Zimmerbrand wurde H. tot aufgefunden. Er hatte Verbrennungen am ganzen Körper. Das Zimmer war vom Boden bis zur Decke fast vollkommen mit Gerümpel vollgestopft. Durch den Brand wurden das gesamte

Mobilar sowie die Wohnungsfenster und -türen zerstört.

Das Sektionsergebnis sprach für eine Rauchgasvergiftung.

Die chemisch-toxikologische Untersuchung des Leichenblutes ergab eine Beladung des Blutes mit CO-Hb von 41 % und 6,24 µg/ml CN^- .

Während auch hier die CO-Hb-Beladung des Blutes noch nicht unbedingt den Tod zur Folge hat, ist eine Blutkonzentration von 6,24 µg/ml CN^- auf keinen Fall mit dem Leben zu vereinbaren.

Da die Leiche sofort aufgefunden und unmittelbar ins Institut zur Sektion verbracht wurde, ist eine postmortale Cyanwasserstoffbildung auszuschließen.

G.S.-Nr.

1345/78

Hier handelt es sich um einen Zimmerbrand, wobei unter anderem auch eine Matratze aus Nadelfilz verbrannte. Interessanterweise konnte bei diesem Toten eine Beladung des Blutes mit Kohlenmonoxid nicht nachgewiesen werden. Die Cyanidkonzentration betrug 1,4 µg/ml CN^- .

G.S.-Nr.

1299/78

Aus dem Polizeibericht:

Der Tote liegt auf der linken Körperhälfte, Teile der Bauchdecke sind verbrannt. Östlich der Beine in ca. 50 cm Entfernung findet sich eine stark verrußte, vermutlich geschmolzene Plastikmasse.

Im Bereich des Rückens in 130 cm Entfernung findet sich ebenfalls weißes, geschmolzenes Plastikmaterial. Es muß angenommen werden, daß K. in suizidaler Absicht sich mit brennbaren Flüssigkeit übergießt und diese entzündete.

Sektionsergebnis: Nach der gerichtsmedizinischen Untersuchung der Leiche ist K. entweder an Verbrennen oder an Einatmen von Rauchgasen auf gewaltsame Weise verstorben.

Bei der Untersuchung des sichergestellten Blutes fanden sich folgende Ergebnisse:

CO-Hb 19 %, CN^- 0,7 µg/ml.

G.S.-Nr.

E 1049/78

S 1050/78

M 1051/78

Bei diesen Verunglückten handelt es sich um Insassen eines

Personenkraftwagens. E. war der Fahrer, S. der Beifahrer und M. befand sich auf dem Rücksitz. Alle drei kamen bei einem Verkehrsunfall, bei dem der Pkw in Brand geriet, ums Leben. Die drei Insassen zogen sich schwerste Verbrennungen zu.

Die sichergestellten Blutproben der Leichen wurden sofort nach der Sektion auf die Anwesenheit von Cyanwasserstoff und Kohlenmonoxid untersucht.

G.S.-Nr. n.

E 1049/78 Sektionsergebnis: Ersticken bei massiver Blutaspilation.

S 1050/78 Sektionsergebnis: Hitzeschock bzw. Erstickung infolge Sauerstoffmangels bzw. Kohlenmonoxidvergiftung.

M 1051/78 Sektionsergebnis: Traumatische Hirnblutung.

Bei der Untersuchung der Blutproben fanden sich folgende Werte:

G.S.-Nr. n.	CN ⁻ (µg/ml)	CO-Hb %
1049/78	1.4	7
1050/78	2.0	7
1051/78	0	10

Bei 1050/78 fand sich bei der Untersuchung auf Kohlenmonoxid eine derart niedrige Konzentration, daß sie für sich allein

den Tod nicht hätte erklären können.

Eine Konzentration von 2 $\mu\text{g/ml}$ CN^- liegt bereits im toxischen Bereich.

G.S.-Nr.

1406/78

S. war mit seinem Personenkraftwagen an einer Massenkarambolage beteiligt. Sein Fahrzeug fing Feuer, S. verbrannte bis zur Unkenntlichkeit.

Nach der gerichtsmedizinischen Untersuchung wurde eine Rauchgasvergiftung in Verbindung mit Kohlenmonoxid für wahrscheinlich gehalten.

Bei der chemisch-toxikologischen Untersuchung des Blutes fanden sich folgende Werte:

CO-Hb 15 %, CN^- 1.4 $\mu\text{g/ml}$.

Im Urin konnte Cyanid nicht nachgewiesen werden.

G.S.-Nr.

1181/78

S. stieß mit seinem Personenkraftwagen frontal gegen einen Traktor. Er verstarb an der Unfallstelle.

Aufgrund der weitgehend zerstörten Leiche konnte bei der Sektion keine eindeutige Todesursache gefunden werden. Es fand

sich jedoch eine typische kirschrote Farbe des Blutes sowie eine hellrote Farbe des Gehirns und des Lungenpress-Saftes.

Bei der Untersuchung des Blutes fanden wir folgende Werte:

CO-Hb 79 %, CN⁻ 5.3 µg/ml.

Diese Werte liegen im hochtoxischen Bereich und müssen somit als Todesursache angesehen werden.

Nach Rückfrage bei einem bekannten großen Automobilhersteller wurden als mögliche cyanidproduzierende Quellen folgende Materialien und deren Verwendung im Personenkraftwagenbau genannt:

Acrylnitrilbutadien- styrol copolymer (ABS)	Anticrashmaterial, Teppiche
Polyurethanschaum	Polster, Lenkrad, Teppich, Mittelkonsole
Textile Fasern	Mittelkonsole
Acrylnitril, Polyamid	Bezugsstoff
Perbunan N	Reifen

Es konnte bereits durch ausführliche Untersuchungen gezeigt werden, daß bei der Verschwelung von derartigen Materialien

neben anderen toxischen Gasen erhebliche Mengen an Cyanwasserstoff gebildet werden.

5. DISKUSSION

Die Tatsache, daß bei Bränden neben Kohlenmonoxid und anderen toxischen Gasen Cyanwasserstoff entsteht, ist schon längere Zeit bekannt. Je nach Intensität der einwirkenden Hitze, dem verbrannten Material und dem Sauerstoffangebot entstehen hohe Raumluftkonzentrationen von Cyanwasserstoff.

Mit zunehmender Verwendung von stickstoffhaltigen Polymeren im Personenkraftwagen- und Flugzeugbau, im Haushalt, bei Gebäuden und in der Industrie steigt auch die Gefährdung des Menschen durch die Pyrolyseprodukte dieser Materialien.

Mit dem von uns modifizierten Verfahren zur Bestimmung des Cyanwasserstoffs im biologischen Material nach Pranitis und Stolman konnte eine Methode zum direkten Nachweis des Cyanwasserstoffs vorgestellt werden.

Durch eine Erhöhung der Destillationszeit auf 30 Minuten und durch die Verwendung von 0,1 n NaOH-Lösung konnte die Methode noch verbessert werden.

Die Nachweisgrenze liegt bei 0,4 µg/ml KCN.

Der gebildete Tetracyanonickelkomplex ist über Wochen stabil, eine Eigenschaft, die für den Einsatz im toxikologischen Labor von großem Vorteil ist.

Ein störender Einfluß von Thiocyanat und Kohlenmonoxid im Probenmaterial konnte nicht bestätigt werden.

Die in der vorliegenden Arbeit gefundenen Cyanidkonzentra-

tionen im Blut von Brandleichen liegen zwischen 0,52 - 6,24 $\mu\text{g/ml}$ mit einem Mittelwert von 2,56 $\mu\text{g/ml CN}^-$.

Damit liegen diese Werte im Schnitt höher als die von anderen Autoren berichteten Cyanidkonzentrationen im Blut von Brandleichen (Wetherell 2,2 $\mu\text{g CN}^-/\text{ml}$, Sigrist und Dirnhofer 0,867 $\mu\text{g CN}^-/\text{ml}$, von Lüpke und Schmidt 0,77 $\mu\text{g CN}^-/\text{ml}$).

Für eine postmortale Cyanwasserstoffbildung fand sich kein Hinweis.

Insgesamt ergab sich aus den Untersuchungen, daß dem Cyanwasserstoff als Toxin bei Bränden größere Aufmerksamkeit geschenkt werden muß.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden am Institut für Rechtsmedizin der Universität München 48 Blutproben von Brandleichen, die anlässlich einer Sektion sichergestellt worden waren, mit Hilfe einer modifizierten Methode nach Pranitis und Stolman auf das Vorhandensein von Cyanwasserstoff untersucht.

Bei 12 von den 48 Proben fanden sich Konzentrationen von 0,52 — 6,24 µg/ml Cyanid. Diese Werte liegen im Durchschnitt höher als die bei früheren Untersuchungen festgestellten.

Der Anteil des Cyanwasserstoffs an den Brandgasen ist offensichtlich größer als bisher angenommen.

Bei der zunehmenden Verwendung von Materialien, die bei Hitzeeinwirkung in der Lage sind, Cyanwasserstoff zu produzieren, ist diesem Toxin bei Bränden mehr Beachtung zu schenken.

7. LITERATURVERZEICHNIS

1. ALDRIDGE, W.N.: A New Method for the Estimation of Micro Quantities of Cyanide and Thiocyanate.
Analyst, 69, 262-265 (1944)
2. ALDRIDGE, W.N.: The Estimation of Micro Quantities of Cyanide and Thiocyanate.
Analyst, 70, 474-475 (1945)
3. ANDERSON, R.A., THOMSON, I., HARLAND, W.A.:
The Importance of Cyanide and Organic Nitriles in Fire Fatalities.
Fire and Materials, 3, 91-99 (1979)
4. ANDERSON, R.A., HARLAND, W.A.: Fire Deaths in the Glasgow Area: III The Role of Hydrogen Cyanide.
Med. Sci. Law, 22, 35-40 (1982)
5. ASMUS, E., GARSCHAGEN, H.: Über die Verwendung der Barbitursäure für die photometrische Bestimmung von Cyanid und Rhodanid.
Z. Anal. Chem., 138, 414-422 (1953)
6. BACHEM, C.: Münchner med. Wschr., 25, 1049 (1929)
7. BALLANTYNE, B., BRIGHT, J.E., WILLIAMS, P.:
The Post-Mortem Rate of Transformation of Cyanide.
Forensic Science, 3, 71-76 (1974)

8. BARK, L.S., HIGSON, H.G.: A Review of the Methods Available for the Detection and Determination of Small Amounts of Cyanide.
Analyst, 88, 751-760 (1963)
9. BAUMEISTER, R.G.H., SCHIEVELBEIN, H., ZICKGRAF-RÜDEL, G.: Toxicological and Clinical Aspects of Cyanide Metabolism.
Arzneim.-Forsch. (Drug Res.), 25, 7 1056-1062 (1975)
10. BERGER-ROSCHER: Spektrophotometrische Bestimmung von Cyaniden in biologischem Material.
Dissertation 8/80, Universität Hamburg
11. BERNDT, A., KERDE, CH., PROKOP, O.: Zur Frage der Verwertbarkeit von Cyanidbefunden im Leichenmaterial.
Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med., 51, 522-534 (1961)
12. CLARK, C.J., CAMPBELL, D., REID, W.H.: Blood Carboxyhaemoglobin and Cyanide levels in Fire Survivors.
The Lancet, 1332-1335 (1981)
13. CURRY, A.S., PRICE, D.E., RUTTER, E.R.: The Production of Cyanide in Post Mortem Material.
Acta pharmacol. et toxicol., 25, 339-344 (1967)

14. DAUNDERER, M.: Akute Intoxikationen: hausärztl. und klin. Therapie; Übersicht in tabellar. Form/Max Daunderer. - 2., neubearb. und erw. Aufl. - München, Wien, Baltimore: Urban und Schwarzenberg, 1980
15. DRABNER, J., SCHWERD, W.: Nachweis von Cyanid in Körperflüssigkeiten.
Beiträge zur gerichtl. Medizin, XXV, 320-323 (1968)
16. EPSTEIN, J.: Estimation of Microquantities of Cyanide. Anal. Chem., 19, 4, 272-274 (1947)
17. FLURY, F., ZERNIK, F.: Schädliche Gase.
S. 489, Berlin: Springer 1931
18. FRIEDBERG, K.D.: Antidote bei Blausäurevergiftungen.
Arch. Toxikol., 24, 41-48 (1968)
19. FRIEDBERG, K.D., SCHWARZKOPF, H.A.: Blausäureexhalation bei der Cyanidvergiftung.
Arch. Toxikol., 24, 235-248 (1969)
20. FUNAZO, K., TANAKA, M., SHONO, T.: Determination of Cyanide or Thiocyanate at Trace Levels by Derivatization and Gas Chromatography with Flame Thermionic Detection. Anal. Chem., 53, 1377-1380 (1981)

21. GADAMER, J.: Lehrbuch der chem. Toxikologie S. 273, Göttingen, Vandenhoeck und Rupprecht 1909

22. GEIGY: Wissenschaftliche Tabellen, Teilband Hämatologie und Humangenetik, 8. Aufl., Basel 1979

23. GELDMACHER-VON MALLINCKRODT, M.: Einfache Untersuchungen auf Gifte im klinisch-chemischen Laboratorium. - Stuttgart: Thieme, 1976. (Klinische Chemie in Einzeldarstellungen; Bd. 2)

24. GELDMACHER-VON MALLINCKRODT, M.: Forensische Toxikologie. In: Gerichtliche Medizin, 2. Aufl., hrsg. von B. Mueller, Springer, Berlin 1975

25. GETTLER, A.O., GOLDBAUM, L.: Detection and Estimation of Microquantities of Cyanide. Anal. Chem., 19, 4, 270-271 (1947)

26. GETTLER, A.O., BAIN, J.O.: Am. J. Med. Sci., 195, 182 (1938)

27. HETMAN, J.: J. Appl. Chem., 10, 16 (1960)

28. HIGGINS, E.A., FIORICA, V., THOMAS, A.A., DAVIS, H.V.: The Acute Toxicity of Brief Exposures to HF, HCL, NO₂ and HCN Singly and in Combination with CO. FAA Office of Aviation Medicine Report, No. 71-41 (1971)

29. HILADO, C.J.:⁷ Relative Toxicity of Pyrolysis Product of some Cellular Polymers.
The Journal of Combustion Toxicology, 3, 259-269 (1976)

30. HILADO, C.J.: Relative Toxicity of Products of Pyrolysis and Combustion of Polymeric Materials using Various Test Conditions.
The Journal of Consumer Product Flammability, 3, 193-217 (1976)

31. Informationsschrift des Bundesgesundheitsamtes vom 18.6.1975: Blausäure: Blut, Urin und Mageninhalt.

32. JURA, W.H.: Anal. Chem., 26, 1121 (1954)

33. KARCHMER, J.H., WALKER, M.T.: Anal. Chem., 27, 37, (1955)

34. LAMBERT, J.L., RAMASAMY, J., PAUKSTELIS, J.V.:
Stable Reagents for the Colorimetric Determination of Cyanide by Modified König Reactions.
Anal. Chem., 47, 6, 916-918 (1975)

35. VON LIEBIG, J.: Annalen, 77, 102 (1851)

36. LIEU, P.J., MAGILL, J.H., ALARIE, Y.C.:
Flammability-Toxicity Ratings of some Polyphosphazene and Polyurethane Foams.
J. Combustion Toxicology, 8, 242-259 (1981)

37. LOHS, K.: Synthetische Gifte.
3. Auflage, Deutscher Militärverlag
Berlin, 1967

38. LUDZACK, F.J., MOORE, W.A., RUCHHOFT, C.C.:
Determination of Cyanides in Water and
Waste Samples.
Anal. Chem., 26, 11, 1784-1792 (1954)

39. VON LÜPKE, H., SCHMIDT, K.: Kombinierte Kohlenmonoxid/
Cyanwasserstoff-Vergiftung nach Ver-
schmören von Kunststoff.
Z. Rechtsmedizin 79, 69-71, (1977)

40. MAPPERLEY, B.W., SEWELL, P.R.: The Evolution of Toxic
Gases from heated Polymers.
Europ. Polymer J. 9, 1255-1264 (1973)

41. MELVIN, W.W.: Aufstellung von Zersetzungsprodukten
in Vol% nach Chemical and Physical
Properties and Thermal Decomposition
Products of Certain Natural Products
and Synthetic Materials.
AD - 751899

42. MURTY, G.V.L.N., VISWANATHAN, T.S.:
Anal. Chim. Acta, 25, 293 (1961)

43. NAESLUND, C.: Untersuchungen über die Vergiftungsge-
fahr bei Erhitzung und Verbrennung
von Röntgenfilm.
Uppsala Läk. för. N.F. 36, 63-74 (1931)

44. NARAYANASWAMI, K., JAND, S., KOTANGALE, R.S., NATH, P., BISARIA, V.S.: Changes in Cyanide as a Function of Storage time in Autopsy Material by UV Spectrometry.
Indian J Med Res 73, 291-295 (1981)
45. NOTA, G., PALOMBARI, R.: Determination of Cyanides and Thiocyanates in Water by Gas Chromatography.
J. Chromatogr., 84, 37-41 (1973)
46. PATTY, F.A.: J. Infectious Dis., 29, 73-77 (1921)
47. POHL, K.D., SCHMIDT, C.: Experimentelle Untersuchungen zur Toxizität von Schwel- und Brandgasen verschiedener Materialien.
Archiv für Kriminologie, 156, 1 und 2, 15-23 (1975)
48. POHL, K.D.: Chemisch-toxikologische Untersuchung im Rahmen der klinischen Notfallanalytik
LAB MED 5/1, 38-47 (1982)
49. PRANITIS, P., STOLMAN, A.: Spectrophotometric Determination of Cyanide in Biological Materials.
J. Forens. Sci. 22, 443-445 (1977)
50. SCOGGINS, M.W.: Ultraviolet Spectrophotometric Determination of Cyanide Ion.
Anal. Chem., 44, 7, 1294-1296 (1972)

51. SCOGGINS, M.W.: Ultraviolet Spectrophotometric Determination of Nickel.
Anal. Chem., 42, 2, 301-303 (1970)

52. SEIFERT, P.: Studien zur Cyankalium-Vergiftung mit Hilfe einer Testfleckenmethode.
Zeitschrift für gerichtl. Medizin, 41, 441-450 (1952)

53. SEULING, W.: Über die Grenzen des Nachweises von Cyankalium in überlebenden Organen.
Inaugural Dissertation, Medizinische Fakultät der Großherzoglich Hessischen Ludwigs-Universität zu Giessen (1911)

54. SIGRIST, T., DIRNHOFER, R.: Zur Entstehung der kombinierten inhalatorischen Blausäure-Kohlenmonoxid-Vergiftung.
Archiv für Kriminologie, 163, 145-159 (1978)

55. SMITH, P.W., CRANE, C.R., SANDERS, D.C., ABBOTT, J.K., ENDECOTT, B.: Effects of Exposure to Carbon Monoxide and Hydrogen Cyanide.
Physiological and Toxicological Aspects of combustion products; Washington/D.C. Nat. Acad. of SC, 75-88 (1976)

56. STÖHR, R.: Chemische Kampfstoffe und Schutz vor chemischen Kampfstoffen.
1. Auflage, Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) Berlin, 1977

57. SUMI, K., TSUCHIYA, Y.: Toxicity of Decomposition Products
- Polyacrylonitrile, Nylon 6 and ABS.
Building Research Note No. 111 (1976)
58. THOMSON I., ANDERSON, R.A.: Determination of Cyanide
and Thiocyanate in biological Fluids
by Gas Chromatography-Mass Spectrometry.
J. Chromatogr., 188, 357-362 (1980)
59. TOMPSETT, S.L.: A Note on the Determination and Identification of Cyanide in Biologic Materials.
Clinical Chemistry, 5, 6, 587-591 (1959)
60. TSOUGAS, W., KOVATSI, A.: Determination of Cyanide in
Biological Samples by indirect atomic
Absorption Spectroscopy.
Vet. Hum. Tox. 21, 190-193 (1979)
61. TSUCHIYA Y., SUMI K.: Determination of Hydrogen Cyanide
in Fire Gases.
The Journal of Comb. Toxicology, 3,
363-370 (1976)
62. VALENTOUR, J.C., AGGARWAL, V., SUNSHINE, I.:
Sensitive Gas Chromatographic Determination of Cyanide.
Anal. Chem., 46, 924-925 (1974)
63. WETHERELL, H.R.: The Occurrence of Cyanide in the Blood
of Fire Victims.
J. Forens. Sci. 11, 167 (1966)

64. WIRTH, W., HECHT, G., GLOXHUBER, CH.:Toxikologie Fibel.
2. überarbeitete und erweiterte Auflage,
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1971
65. YAMAMOTO, K.: . Acute Combined Effects of HCN and CO,
with the Use of the Combustion Products
from PAN (Polyacrylonitrile) - Gauze
Mixtures.
Z. Rechtsmedizin 78, 303-311 (1976)
66. YAMAMOTO, K.: Acute Toxicity of the Combustion Products
from various Kinds of Fibers.
Z. Rechtsmedizin 76, 11-26 (1975)
67. ZAPP, J.A.: Physiological and Toxicological Aspects
of Fire Exposure.
Physiological and Toxicological Aspects
of combustion products; Washington/D.C.
Nat. Acad. of SC, 58-69 (1976)
68. ZAPP, J.A.: The Toxicology of Fire.
Medical Division Special Report Nr. 4,
U.S. Army Chemical Corps. (1951)

LEBENS LAUF

18.12.1949	Geboren in Grafenau <u>Eltern:</u> Andreas Wicht, Sparkassenleiter, verstorben 1973 Margarete Wicht, geb. Bieringer, Teisnach
1955 - 1961	Besuch der Volksschule in Teisnach
1961 - 1970	Besuch des Musikgymnasiums der Re- gensburger Domschatzen
20.06.1970	Abitur in Regensburg
1970 - 1971	Studium der Mathematik/Physik in Regensburg
ab 1971	Studium der Humanmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität in München
13.10.1972	Vorphysikum in München
30.04.1974	Physikum in München
25.03.1975	1. Staatsexamen in München
1975	Famulatur in der Klinik Dr. R. Schindlbeck in Herrsching/Ammersee
ab Anfang 1977	Doktorand am Institut für Rechtsmedi- zin der L-M-Universität in München bei Prof. Dr. med. W. Spann
31.03.1977	2. Staatsexamen in München
1977 - 1978	Praktische Ausbildung an der L-M- Universität München und dem Lehr- krankenhaus Augsburg
18.04.1978	3. Staatsexamen in München
20.07.1978	Approbation, Bayer. Staatsministerium des Innern, München
1978	Eheschließung mit Margaretha Blüml aus Teisnach
1978 - 1981	Krankenhaus der Barmherzigen Brüder in Regensburg, Ausbildung zum Fach- arzt für innere Medizin bei Prof. Dr. med. Doering
1979	Geburt des Sohnes Albert-Andreas
Okt. 1981 - Dez. 1982	Stabsarzt beim Instandsetzungsbatail- lon der 4. Panzergrenadierdivision in Regensburg

